УДК 656.612

А.П. Бень
Херсонский государственный морской институт, г. Херсон, Украина
ben@kmi.kherson.ua

Использование теоретико-игровой модели для представления и анализа навигационных ситуаций в системе поддержки принятия решений судоводителя

В статье рассматривается проблема разработки систем поддержки принятия решений судоводителя. Предлагается использование теоретико-игровой модели для описания навигационных ситуаций, что позволит адекватно представить динамику процессов расхождения судов и обеспечит возможность поддержки принятия решений по управлению судном в режиме реального времени.

Введение

Рост интенсивности морских перевозок в последние десятилетия привел к значительному увеличению количества морских аварий, в том числе с человеческими жертвами и сложными техногенными последствиями, поэтому повышение безопасности судовождения становится одной из наиболее важных проблем современного судоходства. Как показывает анализ причин возникновения аварий на море, главным их фактором является и остается человеческий (около 75 процентов всех случаев) – большинство навигационных аварий происходят не по отказу технических средств навигации или управления движением судна, а ввиду неготовности судоводителей своевременно принимать решение в соответствии со складывающейся ситуацией. Снижение влияния человеческого фактора на уровень аварийности на море представляет актуальную научно-практическую проблему, которую необходимо решать в разрезе оптимизации взаимодействия судоводителя с современными техническими средствами судовождения. Одним из наиболее перспективных путей поставленной проблемы является разработка систем поддержки принятия решения (СППР) судоводителя.

Целью работы является разработка математической модели представления навигационных ситуаций в СППР на основе теоретико-игрового подхода и определение базовых принципов создания и функционирования таких СППР.

Анализ исследований и предшествующие публикации

Анализ ряда работ, посвященных теории и практике создания СППР в судовождении [1-3], показывает, что важнейшим фактором, который необходимо учитывать при описании процесса расхождения судов, является характер их взаимодействия. При этом необходимо принять во внимание принцип общности интересов взаимодействующих судов, состоящий в избежании столкновения, и нормативную координацию их поведения в соответствии с Международными правилами предотвращения столкновений судов (МППСС-72). Существенным недостатком МППСС-72 является то, что правила регламентируют действия судоводителя только для случаев бинарного взаимодействия и не рассматривают ситуации одновременного расхождения нескольких судов. Кроме того, МППСС-72 сами по себе являются источником неопределенности в описании ситуации расхождения ввиду неоднозначности трактовки некоторых предписаний правил.

Важной особенностью СППР судоводителя является работа в режиме реального времени, что накладывает жесткие временные ограничения на процессы выработки и принятия решений и требует построения сценариев расхождения судов на весь период взаимодействия. Указанные обстоятельства обусловливают необходимость разработки адекватных требованиям МППСС-72 математических моделей, пригодных, вместе с тем, для описания ситуаций взаимодействия судов при расхождении и принятии решений по управлению судном в реальном времени, в условиях динамически изменяющейся навигационной обстановки. Сравнительный анализ ряда работ по указанной проблематике [1-7] показал перспективность дальнейшего развития и использования для этих целей дискретных теоретико-игровых моделей взаимодействия.

Основная часть

Определим базовые требования, которым должна удовлетворять СППР судоводителя:

– движение каждого из судов-участников навигационной ситуации должно рассматриваться с позиций целенаправленного поведения, имеющего целью избежание столкновений с другими судами, максимально придерживаясь при этом требований МППСС-72;

– для анализа процесса развития сложившейся навигационной ситуации необходимо строить многошаговые сценарии ее развития, принимая во внимание динамические модели поведения судов-участников движения;

– следует учитывать, что реальный процесс расхождения судов проходит в условиях сложного кооперативного взаимодействия участников в случае, если их число более двух, а условия видимости отличаются от хороших;

– количество возможных сценариев развития навигационных ситуаций, которые анализируются СППР, достаточно велико, и их число необходимо сокращать, исходя как из ограничений МППСС-72, так и из динамики изменений ключевых параметров движения судов (линий относительного движения, пеленгов и скоростей). Для отмеченных целей наиболее целесообразно применять существующий каталог типовых ситуаций;

– необходимо учитывать и накапливать в СППР информацию относительно предыдущего опыта управления движением судна в аналогичных условиях, если таковой имел место.

Указанные особенности функционирования СППР судоводителя обусловливают целесообразность использования теоретико-игрового подхода для построения математической модели описания ситуаций расхождения.

Рассмотрим навигационную ситуацию $S(t)$, описывающую навигационную обстановку S в заданной зоне вокруг собственного судна в некоторый момент времени t. Пусть $S(t)$ характеризуется наличием в зоне расхождения n судов, где каждое i-е судно ($i \in [1,n]$) представлено множеством $M_i = \{x_i, y_i, V_i, \psi_i, \Delta V_i, \Delta\psi_i,\}$, состоящим из шести параметров: координаты (x_i, y_i), скорость V_i, курс ψ_i и производные ΔV_i, $\Delta\psi_i$, определяющие динамику изменения V_i и ψ_i. Значения $(x_i, y_i), V_i$ и ψ_i поступают от системы автоматической радиолокационной прокладки курса (САРП), а величины ΔV_i, $\Delta\psi_i$ рассчитываются в СППР на основе предыдущих значений V_i и ψ_i.

Параметры движения i-го судна обозначим множеством $M_i = \{x_i, y_i, V_i, \psi_i, \Delta V_i, \Delta\psi_i,\}$. Тогда для любого дискретно заданного момента времени t навигационная ситуация $S(t)$ будет представлена в виде: $S(t) = (M_0,..., M_i,..., M_n)$.

Каждое i-е судно в момент времени t характеризуется множеством возможных траекторий движения по отношению к собственному судну, представленных в виде матрицы чистых стратегий $U_0^i(S(t))$.

Движение судов в зоне расхождения осуществляется с учетом ряда статических и динамических ограничений Z, к которым относятся:

– имеющиеся в настоящий момент навигационные ограничения движения в зоне расхождения – Z_1;

– выполнение требований МППСС-72 – Z_2;

– выполнение требований критериев безопасного расхождения по минимальной безопасной дистанции сближения $D_{кр}$, времени сближения $t_{кр}$, пеленга $П$ или курсового угла $КУ\ ЛОД$ [8] – Z_3;

– ограничения, обусловленные учетом кинематических параметров движения судов и их маневренных характеристик – Z_4.

Общее множество ограничений Z может быть представлено как:

$$Z = Z_1 \cap Z_2 \cap Z_3 \cap Z_4 .$$

Ограничения Z позволяют определить матрицы допустимых стратегий управления $U_0^i(S(t))$ для собственного судна и каждого i-го судна-участника навигационной ситуации $S(t)$.

Так как МППСС-72 регламентируют только попарное взаимодействие судов, решение задачи расхождения с позиций теории кооперативных игр существенно осложнено, особенно если количество судов велико (более 5). Вместе с тем при анализе $S(t)$ важно учитывать не только взаимодействие собственного судна с другими судами, но и взаимодействие других судов друг с другом, что существенно влияет на развитие ситуации $S(t)$.

С ростом количества судов-участников $S(t)$ количество необходимых для анализа матриц взаимодействия факториально растет и их обработка не может быть реализована в СППР в режиме реального времени. Компромиссным решением в этом случае является формирование матриц взаимодействия собственного судна с каждым опасным или потенциально опасным судном, а для взаимодействия судов друг с другом – построение только одной матрицы для каждого судна, которая представляет возможные стратегии его движения по отношению к одному, наиболее опасному для него (т.н. «лимитирующему»), судну.

Такой подход позволяет определить предполагаемые траектории движения всех судов-участников навигационной ситуации $S(t)$ и уточнить границы зоны безопасности собственного судна (Z_2, Z_3).

Оценка уровня опасности судов осуществляется с использованием комплексного критерия безопасности, оценивающего величины $D_{кр}$, $t_{кр}$ и *КУ ЛОД*. В случае превышения заданных значений $D_{кр}$, $t_{кр}$ судно рассматривается как опасное. На основании оценки изменения *КУ ЛОД*, согласно методике, предложенной в [9], судно считается потенциально опасным или безопасным. Для безопасных судов матрицы стратегий расхождения не формируются, осуществляется только мониторинг параметров их движения посредством САРП.

Поиск оптимального маневра собственного судна в игровой постановке задачи расхождения состоит в определении таких изменений его курса и/или скорости, которые обеспечивают минимальные отклонения от запланированной траектории движения при сохранении заданного уровня безопасности движения.

Принимая во внимание вышеизложенные методы оценки опасности столкновения, алгоритм работы СППР по предотвращению столкновений судов может быть представлен в следующем виде [10]:

– идентификация судов, находящихся в зоне возможного столкновения;

– мониторинг параметров движения судов и динамики их изменения;

– оценка погрешности получаемых параметров движения;

– классификация судов по степени опасности;

– определение областей взаимных обязанностей, в соответствии с МППСС-72, и границ зоны безопасности собственного судна;

– формирование множества возможных стратегий движения судов;

– определение стратегий движения, отвечающих заданным критериям безопасности;

– выработка возможных альтернатив по управлению судном и предоставление их судоводителю.

Возможный алгоритм работы СППР судоводителя, использующей теоретико-игровую модель представления навигационных ситуаций, представлен на рис. 1.

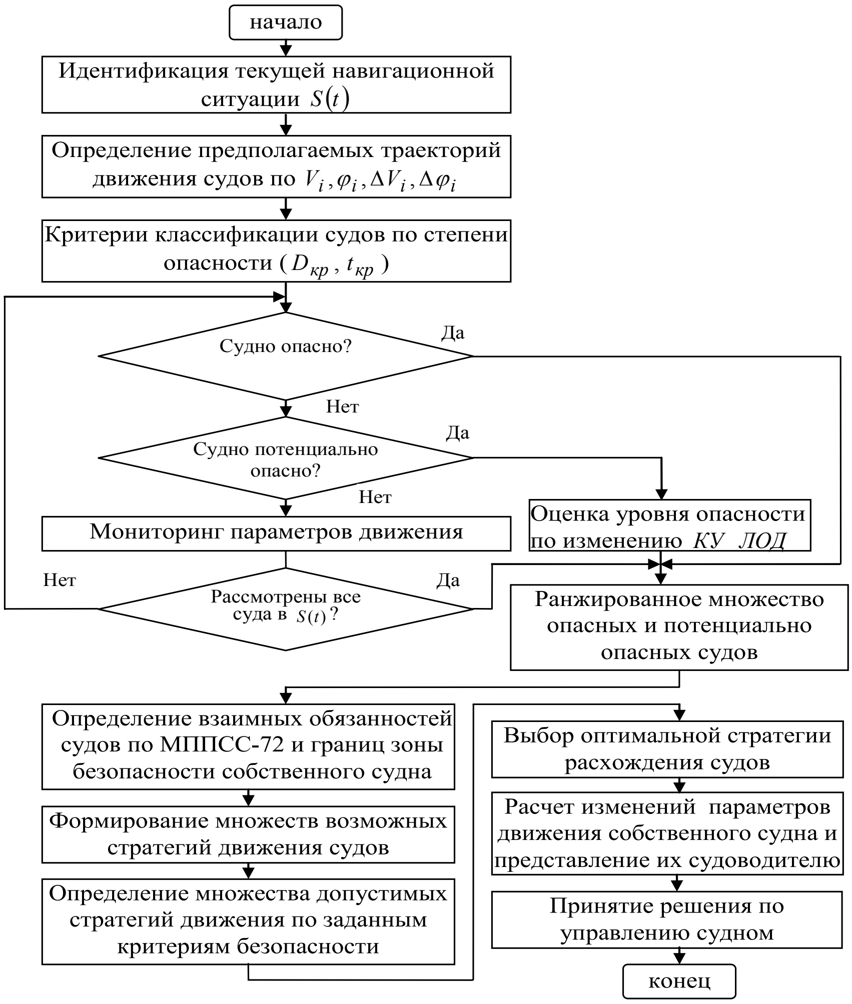


Рисунок 1 – Алгоритм работы СППР судоводителя, использующей теоретико-игровую модель представления навигационных ситуаций

Судно исключается из рассмотрения СППР в случае идентификации его как безопасного, но мониторинг параметров движения продолжается при нахождении его в пределах зоны действия САРП. Для опасных и потенциально опасных судов СППР формирует многошаговую стратегию расхождения на весь прогнозируемый период их нахождения в зоне взаимных обязанностей, с последующей коррекцией стратегии в случае, если текущее развитие ситуации будет отличаться от прогнозируемого. В процессе формирования стратегии расхождения учитывается предполагаемое изменение параметров движения судов, обусловленное их взаимодействием друг с другом в соответ-

ствии с МППСС-72. Результатом работы СППР судоводителя является графическая визуализация ситуации $S(t)$ с указанием необходимых изменений параметров движения собственного судна.

Выводы

Предложенные принципы построения СППР судоводителя на основе теоретико-игрового подхода к представлению навигационных ситуаций обеспечивают возможность реализации ее работы в режиме реального времени. Использование комплексного критерия оценки уровня опасности судов в сочетании с анализом процессов их взаимодействия друг с другом в рамках ограничений МППСС-72 позволяет повысить точность определения границ зоны безопасности и минимизировать риски возможного столкновения. Практическое применение СППР судоводителя в интеграции с САРП позволит снизить влияние человеческого фактора на процессы управления судном и уменьшить уровень аварийности на море.

Литература

1. Алексейчук М.С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов / М.С. Алексейчук // Судовождение : сб. науч. трудов ОГМА. – Вып. 1. – 1999. – С. 7-14.
2. Мальцев А.С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А.С. Мальцев // Судовождение : сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – Вып. 11. – С. 74-86.
3. Цымбал Н.Н. Стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмак. И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
4. Lisowski J. Mathematical modeling of a safe ship optimal control process / J. Lisowski // Polish Journal of Enviromental Studies. – 2005. – 14(1). – P. 68-75.
5. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса : Морской тренажерный центр, 2008. – 235 с.
6. Мальцев А.С. Некоторые особенности применения АИС для предупреждения столкновений судов / А.С. Мальцев, Е.О. Орлов // Судовождение. – 2007. – № 14. – С. 71-78.
7. Мальцев А.С. Каталог ситуаций и видов маневра при относительном движении судов / А.С. Мальцев // ОНМА, кафедра «Управление судном». – 2005. – 38 с.
8. Бень А.П. Принципи побудови систем підтримки прийняття рішень судноводія / А.П. Бень // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2010) : матеріали Другої науково-практичної конференції, (Херсон, ХДМІ, 25 – 27 травня 2010 р.). – Т.1. – С. 8-11.
9. Патент України на корисну модель. Пристрій оцінки небезпеки зіткнення суден за курсовим кутом лінії відносного руху / Мальцев А.С., Бень А.П., Нгуен Тхан Шон. – № 40401. – 2009.
10. Бень А.П. Методы оценки опасности траектории движения судов в системах поддержки принятия решений / А.П. Бень // Вестник ХНТУ : сб. науч. трудов Херсонского национального технического университета. – 2009. – Вып. 1 (34), 9. – С. 429-433.

А.П. Бень

Застосування теоретико-ігрової моделі для подання та аналізу навігаційних ситуацій в системі підтримки прийняття рішень судноводія

У статті розглядається проблема розробки систем підтримки прийняття рішень судноводія. Пропонується застосування теоретико-ігрової моделі для опису навігаційних ситуацій, що дозволить адекватно подати динаміку процесів розходження суден і забезпечить можливість підтримки прийняття рішень щодо управління судном у реальному часі.

A.P. Ben

Use of game theory model for representation and the analysis of navigating situations in system of support decision-making of the navigator

In article the problem of system engineering of support of decision-making of the navigator is considered. Use of game theory model for the description of navigating situations that will allow to present adequately dynamics of processes of a ship divergence is offered and will provide an opportunity of support of decision-making on management of a ship in a mode of real time.

Статья поступила в редакцию 30.06.2010.